

# 수면에 충돌하는 포탄의 충격량 해석

## Impulse Analysis of Cannonballs Colliding into Water

\*정영훈<sup>1</sup>, 윤준식<sup>1</sup>, 방한석<sup>1</sup>, 이해석<sup>2</sup>, 조연식<sup>2</sup>, #최우천<sup>3</sup>

\* Y. H. Jung<sup>1</sup>, J. S. Youn<sup>1</sup>, H. S. Bang<sup>1</sup>, H. S. Lee<sup>2</sup>, Y. S. Cho<sup>2</sup>, #W. C. Choi(wcchoi@korea.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup>국방과학연구소, <sup>3</sup>고려대학교 기계공학부

Key words : Cannonball, Impulse, Panel source method, Collide, Impact force

### 1. 서론

포탄 발사 시험 시 수평으로 사격되는 시험용 포탄에는 실제 사용되는 폭발용 화약이 장입되지 않는다. 현재 화포 무장 수락 시험과 탄약 시험 수행 시에 많은 수의 탄들이 해수 도비 현상을 보여 준다. 사격된 탄이 수면과 충돌할 때 충격에 의해서 파쇄가 될 수 있고, 파쇄여부에 따라 발사 시험 시 필요한 안전 구역이 달라진다.

포탄 시험 조건 개선을 위해서는 탄이 받는 충격량 해석이 필요하다. 충격량은 탄의 형상, 발사 속도, 발사 각도, 수면의 상태 등 여러 변수 들에 따라 달라진다. 탄의 충격량 예측을 위해서는 이러한 변수들에 따른 탄의 도비 현상에 대한 해석적 연구가 선행되고 그 도비 현상에 의해 받는 충격량 해석이 수행되어야 한다.

### 2. 이론적 배경

수면에 충돌은 유체에 대한 고체의 충돌을 의미하며, 이러한 충돌은 유체를 비점성, 비압축성 유동으로 가정하여 지배방정식과 경계조건, 패널소스기법 (panel source method) 으로부터 충돌 시 포탄 표면에 발생하는 표면 압력, 모멘텀을 구할 수 있다. 패널소스기법은 비압축성 유동의 분석에서 물체의 표면을 여러 개의 단위인 소스로 나누고, 외부의 유동에 따른 각각의 소스들 간의 영향을 분석한다[1-2]. 지배방정식과 경계조건은 식 (1)~(3)과 같다.

$$\text{지배방정식 : } \nabla^2 \Phi = 0 \tag{1}$$

물체 표면에서의 경계조건 :

$$-\nabla \Phi \cdot \bar{e}_n = \bar{V}_E \cdot \bar{e}_n \tag{2}$$

유효 수면에서의 경계조건 :

$$\bar{V}_s = (C_w - 1) \bar{V}_p \cdot \bar{k} = \frac{\partial \Phi}{\partial Z}(x, y, 0) \cdot \bar{k} \tag{3}$$

$$\Phi = 0$$

Fig. 1 은 충격량 계산을 위해 포탄의 표면을 수많은 요소로 나누고 요소의 중심을 나타낸 것이다. 포탄의 중심선을 따라 소스를 분포시키고, 이 소스 강도( $\sigma_j$ )에 의해 포탄 표면에 식 (4)와 같이 유도된 속도 포텐셜을 만들 수 있다.

$$\Phi_j(x, y, z) = -\frac{1}{4\pi} \int_A \frac{\sigma_j dA}{R} \tag{4}$$

$$R = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}$$

소스 강도로부터 N 개의 요소를 식 (4)에 적용하여 각각의 요소에 대한 N 개의 연립방정식을 얻을 수 있다. 이를 식 (5)와 같이 표현한다.

$$\sum_{j=1}^N A_{ij} \{\sigma_j\} = [A_{ij}] \{\sigma_j\} = [\bar{V}_E \cdot \bar{e}_n] \tag{5}$$

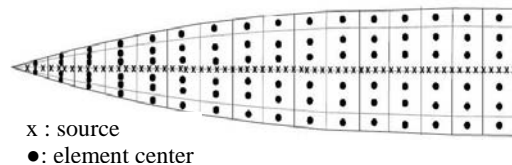


Fig. 1 Elements and sources of a cannonball

식 (5)를 풀어서 소스강도를 계산한 후, 각 중심에서 식 (6)의 속도 포텐셜을 구할 수 있다.

$$\{\Phi\} = \sum_{j=1}^N B_{ij} \{\sigma_j\} = [B_{ij}] \{\sigma_j\} \quad (6)$$

식 (6)에서 계산한 속도 포텐셜을 비정상 상태 베르누이 방정식에 적용하여 식 (7)의 표면 압력계수를 구할 수 있다.

$$C_p \equiv \frac{(P - P_\infty)}{(1/2)\rho_\infty V_\infty^2} \equiv 1 - \frac{|\nabla\Phi|^2}{V_\infty^2} \quad (7)$$

$$= \frac{2}{V_\infty^2} \left[ \frac{\partial\Phi}{\partial t} + (\vec{V}_E \cdot \nabla\Phi) - \frac{\nabla\Phi^2}{2} \right]$$

식 (7)을 통해 수직충격력, 충격모멘트 등을 계산할 수 있다[3].

### 3. 해석 및 결과

본 연구에서는 155mm K307 탄의 충격량을 해석하였다. 포탄이 물에 충돌할 때 발생하는 충격량을 수치적으로 해석하였는데 충격량의 크기에 따라 포탄의 파쇄 여부가 결정된다.

Fig. 2 는 포탄 표면 요소 중심의 로컬 좌표상의 위치와 비행 중 포탄 표면 요소 중심의 글로벌 좌표상의 위치를 보여준다. 이 포탄이 일정한 각도로 날아갈 때, 각 요소 중심의 모든 수직 좌표값이 수면보다 위에 있으면 충돌하지 않은 상태, 한 점이라도 아래에 있으면 충돌한 것으로 계산 하였다.

Fig. 3-(a)는 포탄이 수면에 충돌할 때 시간에 따른 수직방향 충격력을 구한 그림이다. 값이 '0'인 구간은 충돌이 발생하기 전의 상황이고 그 후에 충돌이 발생할 때 충격력이 변함을 볼 수 있다. 이렇게 구한 충격력을 시간에 관해서 적분하면 Fig. 3-(b)와 같이 충격량을 구할 수 있다. 충격력과 충격량에 따라 포탄의 파쇄가 결정될 수 있다.

### 4. 결론

탄이 수면에 충돌할 때 탄의 파쇄 여부를 예측하기 위해 포탄의 충격량 해석을 수행하였다. 포탄의 충격량은 발사 초기 조건 및 포탄의 형상에 따라 변화할 수 있다.

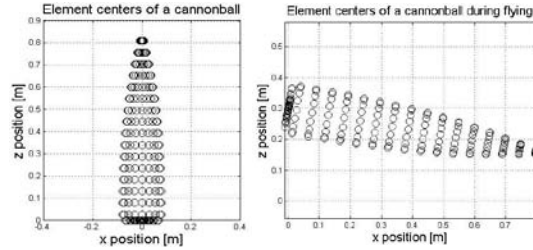
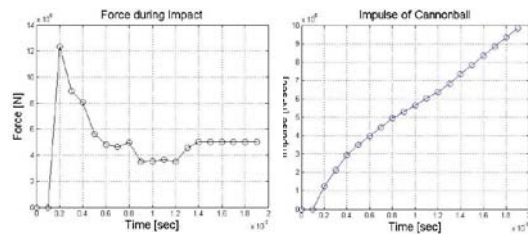


Fig. 2 Element centers of a cannonball



(a) Force during impact (b) Impulse of cannonball  
Fig. 3 Force and impulse during impact

향후 연구 과제로 포탄에 작용하는 항력의 영향으로 포탄의 자세각이 변화하고 동적으로 변하는 거동을 해석할 수 있다.

### 후기

본 연구는 국방과학연구소의 일반기초연구 사업(ADD-10-01-06-14) 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. Henne, P. A., "Applied Computational Aerodynamics", Panel Methods 4-1~4-67, 1990
2. Hess, J. L., "Panel methods in computational fluid dynamics", Fluid Mech, Vol 22, pp. 255-274, 1990
3. Wardlaw, A. B. Jr., Morrison, A. M. and Baldwin, J. L., "Prediction of Impact Pressures, Forces, and Moments During Vertical and Oblique Water Entry", Naval Surface Weapons Center Report, WOL/TR 77-16, 1977